



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 30 821 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 02 B 21/06**

⑦① Aktenzeichen: 101 30 821.3  
⑦② Anmeldetag: 26. 6. 2001  
⑦③ Offenlegungstag: 2. 1. 2003

**DE 101 30 821 A 1**

⑦① **Anmelder:**  
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

⑦② **Erfinder:**  
Engel, Thomas, Dr., 99102 Niedernissa, DE;  
Harnisch, Wolfgang, Dipl.-Phys., 07778 Lehesten,  
DE; Heise, Jürgen, Dipl.-Phys., 07745 Jena, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

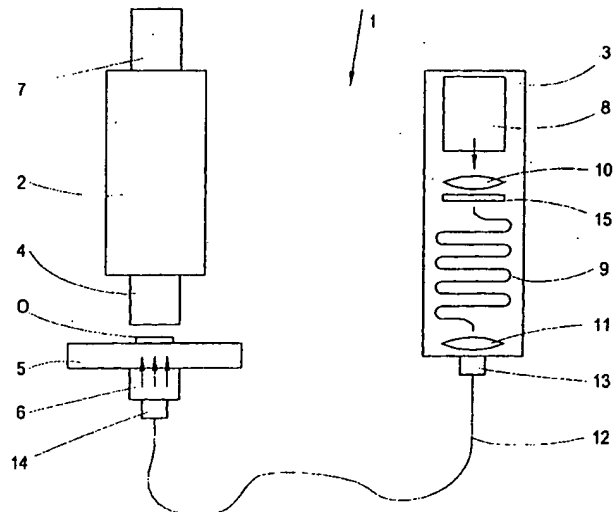
DE 199 46 594 A1  
EP 04 35 825 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Einrichtung zur flächigen Beleuchtung eines Objektfeldes

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur flächigen Ausleuchtung eines Objektfeldes bei einem optischen Gerät sowie auf ein optisches Gerät mit einer solchen Einrichtung. Optische Geräte dieser Art sind beispielsweise Mikroskope, darunter Mikrolithographie-Simulationsmikroskope, bei denen eine flächige, d. h. über einen singulären Objektpunkt hinausragend ausgedehnte Beleuchtung des zu untersuchenden Objektes benötigt wird.

Die Einrichtung umfaßt eine Laserlichtquelle (8) und ein Lichtleitkabel (9) mit wenigstens einer optischen Faser, durch die das Licht von der Laserlichtquelle (8) zum Objektfeld geleitet wird, wobei die optische Faser so ausgebildet und bemessen ist, daß sich die Intensität des Beleuchtungslichtes innerhalb des Querschnittes der optischen Faser auf dem Weg vom einstrahlseitigen zum abstrahlseitigen Ende zunehmend vergleichmäßig und das Beleuchtungslicht vom abstrahlseitigen Ende der optischen Faser mit im wesentlichen homogener Intensitätsverteilung auf das Objekt (O) gerichtet ist.



**DE 101 30 821 A 1**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur flächigen Ausleuchtung eines Objektfeldes bei einem optischen Gerät sowie auf ein optisches Gerät mit einer solchen Einrichtung. Optische Geräte dieser Art sind beispielsweise Mikroskope, darunter Mikrolithographie-Simulationsmikroskope, bei denen eine flächige, d. h. über einen singulären Objektpunkt hinausgehend ausgedehnte Beleuchtung des zu untersuchenden Objektes benötigt wird.

[0002] Die Homogenität der Ausleuchtung des Objektfeldes ist bei derartigen Geräten von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die Qualität der von dem Objektfeld aufgenommenen Bilder. Insofern besteht bei der Verwendung von Laserlichtquellen zur Erzeugung des Beleuchtungslichtes das Problem, daß die Intensität des Lichtes innerhalb des Strahlungsquerschnittes ungleichmäßig verteilt ist, was sich nachteilig auf die Bildqualität auswirkt.

[0003] Weitere Schwankungen in der Helligkeit der Ausleuchtung, die sich nachteilig auf die Bildqualität und damit auch auf die Auswerteergebnisse auswirken, sind bei kohärenten Lichtquellen auf niederfrequente Amplitudenmodulationen bzw. kohärentes Rauschen (Speckle) zurückzuführen. Es besteht daher ein bedeutendes Interesse daran, diese Störeinflüsse so weit möglich zu verringern.

[0004] Dazu wurde in einer bereits bekannten Lösung in den Strahlengang zwischen der Laserlichtquelle und dem Objektfeld eine rotierende Streuscheibe angeordnet, um die Intensitätsmodulation des Laserlichtes zu verringern.

[0005] Weiterhin ist es bekannt, im Zusammenhang mit optischen Geräten Lichtleitkabel einzusetzen. Diese werden bisher dazu verwendet, Licht möglichst flexibel von der Quelle zum Objekt zu übertragen. Üblicherweise werden die Lichtleitkabel zur Übertragung von Beleuchtungslicht im Spektralbereich von langwellig ( $\lambda > 400$  nm) bis zu infrarot eingesetzt.

[0006] Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine weitere Möglichkeit zur Homogenisierung der Ausleuchtung eines ausgedehnten Objektfeldes zu schaffen.

[0007] Eine Einrichtung der eingangs genannten Art umfaßt hierzu eine Laserlichtquelle zur Erzeugung von Beleuchtungslicht und ein Lichtleitkabel mit wenigstens einer optischen Faser, durch die das Beleuchtungslicht zum Objekt geleitet wird, wobei die optische Faser so ausgebildet und bemessen ist, daß sich die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb ihres Querschnittes auf dem Weg vom einstrahlseitigen zum abstrahlseitigen Ende zunehmend vergleichmäßig und das Beleuchtungslicht vom abstrahlseitigen Ende der optischen Faser mit im wesentlichen homogener Intensitätsverteilung auf das Objekt gerichtet ist.

[0008] Hiermit wird ein Effekt erzielt, der dem einer rotierenden Streuscheibe ähnlich ist. Im Unterschied zu der rotierenden Streuscheibe handelt es sich jedoch bei der erfindungsgemäßen Lösung um ein statisches System, das aufgrund des Fehlens bewegter Komponenten eine besonders hohe Störsicherheit aufweist. Zudem entfällt die bei einer rotierenden Streuscheibe benötigte Antriebseinrichtung wie auch die zugehörige Ansteuerung.

[0009] Das Lichtleitkabel kann überdies flexibel verlegt werden, ohne daß für dessen Lage besondere Einschränkungen bestehen, so daß im Unterschied zu einer Streuscheibe mit Antriebseinrichtung auch eine größere Kompaktheit beim Geräteaufbau erzielt werden kann.

[0010] Eine Verminderung der Intensitätsmodulation über den Strahlquerschnitt läßt sich über unterschiedliche Konfigurationsparameter des Lichtleitkabels verwirklichen. Bei-

spielsweise kann dies über die Vorgabe der Länge der optischen Faser und/oder des Durchmessers der optischen Faser und/oder des verwendeten Materials für die optische Faser erfolgen, so daß die räumliche Kohärenz des Laserlichtes zerstört wird. Unter einer Verminderung der Intensitätsmodulation wird hier eine Verringerung der Intensitätsschwankungen über den Querschnitt am Ausgang des Lichtleitkabels auf weniger als 10%, vorzugsweise auf weniger als 1% verstanden.

[0011] In einer bevorzugten Ausgestaltung erzeugt die Laserlichtquelle Licht im UV-Bereich, vorzugsweise bei einer Wellenlänge von 386 nm, 365 nm, 266 nm, 257 nm, 248 nm, 213 nm, 211 nm oder 193 nm bei einer Bandbreite von jeweils etwa  $\pm 2$  nm. Die verwendete optische Faser ist vorzugsweise ein Multimode-Lichtleiter. Der Durchmesser des lichtleitenden Teils besitzt in diesem Fall ein Vielfaches der Wellenlänge des von der Quelle kommenden Lichtes.

[0012] Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn die Länge der optischen Faser mindestens 30 cm beträgt. Bei zu großen Längen sind die Intensitätsverluste zu hoch, so daß die Maximallänge derzeit technologisch bedingt auf vorzugsweise etwa 100 cm beschränkt werden sollte. Sofern beständige bzw. verlustfreie optische Fasern verfügbar sind, kann deren Länge auch größer gewählt werden.

[0013] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Lichtquelle eine gepulste Laserlichtquelle. Im Vergleich zu Streuscheiben ist bei dem erfindungsgemäßen Einsatz von optischen Fasern zu beobachten, daß die Homogenisierung bereits bei kleinen Pulszahlen mit gutem Erfolg erreicht wird, wodurch sich eine solche Beleuchtungsvorrichtung für eine Optimierung des Meßdurchsatzes bei Meßverfahren sehr gut eignet.

[0014] Zur weiteren Verbesserung bzw. Homogenisierung der Ausleuchtung können zusätzlich eine oder auch mehrere rotierende Streuscheiben dem Lichtleitkabel vor- und/oder nachgeordnet werden.

[0015] Werden zwei Streuscheiben vorgesehen, so ist es im Hinblick auf die Homogenisierung vorteilhaft, wenn diese in entgegengesetzte Richtungen drehen. Zur Erzielung der Streuwirkung sind die Streuscheiben beispielsweise granuliert. Bei Verwendung einer gepulsten Laserlichtquelle wird die Granulierung, d. h. die Größe der einzelnen Granulatkörner, auf die Pulszahl und Pulsdauer sowie auf die Drehgeschwindigkeit der Streuscheibe abgestimmt. Auch die Abstimmung auf die charakteristische Kohärenzlänge ist denkbar. Die Abstimmung hat zum Ziel, daß das Licht während eines Pulses, z. B. während 10 ns, im wesentlichen durch dieselbe Stelle an der Streuscheibe hindurchtreten kann, d. h. die Streuscheibe hinsichtlich ihrer optischen Auswirkung quasi stillsteht, während andererseits im Zeitabschnitt zwischen jeweils zwei Pulsen eine merkliche Weiterdrehung erfolgt. Dadurch wird sowohl die Granulierung der Streuscheibe als auch die Intensitätsinhomogenität über den Strahlquerschnitt der Lichtquelle ausgemittelt. Anstelle einer Granulierung kann auch ein holographisches Profil verwendet werden.

[0016] Erfindungsgemäß wird weiterhin ein optisches Gerät, insbesondere ein Mikrolithographie-Simulationsmikroskop vorgeschlagen, das eine auf ein Objektfeld ausrichtbare Betrachtungseinrichtung und eine Beleuchtungseinrichtung der vorstehend erläuterten Art umfaßt.

[0017] Vorzugsweise ist die Beleuchtungseinrichtung als Baueinheit neben der Betrachtungseinrichtung angeordnet, wobei die Beleuchtungseinrichtung mit der Betrachtungseinrichtung über eine Einrichtung zur Lichtleitung verbunden ist. Dies kann beispielsweise über Umlenkspiegel oder aber auch über ein weiteres Lichtleitkabel erfolgen.

[0018] Selbstverständlich ist es auch möglich, das Licht

über das Lichtleitkabel der Beleuchtungseinrichtung unmittelbar in die Betrachtungseinrichtung einzukoppeln.

[0019] Die Einkopplung des Lichtes in die Betrachtungseinrichtung kann nach dem Auflichtprinzip oder nach dem Durchlichtprinzip vorgenommen werden.

[0020] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Betrachtungseinrichtung derart konfiguriert, um in dem Objektfeld mehrere verschiedene Objektpunkte abzuscannen.

[0021] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels anhand einer Zeichnung näher erläutert, die ein Mikroskop mit einer Beleuchtungseinrichtung nach der Erfindung zeigt.

[0022] Das Mikroskop 1, das hier beispielhaft als Mikrolithographie-Simulationsmikroskop ausgebildet ist, ist mit einer Betrachtungseinrichtung 2 und einer Beleuchtungseinrichtung 3 ausgestattet. Hiermit lassen sich beispielsweise Masken für die Halbleiter- bzw. Waferherstellung, jedoch auch andere Objekte untersuchen.

[0023] Die Betrachtungseinrichtung 2 umfaßt ein Objektiv 4, das auf einen bewegbaren Tisch 5 mit einer Aufnahme für ein zu untersuchendes Objekt O gerichtet ist. Des weiteren ist eine Beleuchtungsoptik 6 vorgesehen, mit der an dem Objekt O ein flächenhaftes Objektfeld gleichmäßig ausgeleuchtet werden soll. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Beleuchtung nach dem Durchlichtprinzip vorgesehen. Es ist jedoch auch möglich, das Objekt O nach dem Auflichtprinzip zu beleuchten und zu untersuchen.

[0024] Die hier dargestellte Betrachtungseinrichtung 2 ist zum Scannen von mehreren Objektpunkten in dem Objektfeld ausgebildet. Hierbei erhaltene Bildinformationen werden in einer an die Betrachtungseinrichtung 2 angeschlossenen Videokamera 7 aufgezeichnet. Anstelle der Videokamera 7 können jedoch auch andere mit einem Bildaufnahmesensor ausgestattete Aufzeichnungsmedien vorgesehen werden. Überdies kann die Betrachtungseinrichtung 2 bei entsprechender Ausgestaltung eine visuelle Beobachtung des flächig ausgeleuchteten Objektfeldes ermöglichen.

[0025] Dem Mikroskop 1 zugeordnet ist die bereits erwähnte Beleuchtungseinrichtung 3, die hier als separate Baueinheit dargestellt ist. Die Beleuchtungseinrichtung 3 umfaßt eine Laserlichtquelle 8 zur Erzeugung des Lichtes, mit dem das Objektfeld ausgeleuchtet werden soll. Die Laserlichtquelle 8 erzeugt kohärentes Licht im UV-Bereich und ist hier beispielhaft als gepulste Laserlichtquelle ausgebildet.

[0026] Bevor das von der Laserlichtquelle 8 erzeugte Licht auf ein Objekt O trifft, wird dieses durch ein Lichtleitkabel 9 geleitet. Das Lichtleitkabel 9 umfaßt eine oder auch mehrere optische Fasern und dient dazu, die Kohärenz des von der Laserlichtquelle 8 abgestrahlten Lichtes aufzubrechen. Hierzu bestehen unterschiedliche Möglichkeiten. So ist eine Homogenisierung der Intensitätsverteilung über den Querschnitt der optischen Faser abhängig von der Länge, dem Durchmesser und dem Material derselben. Durch eine gezielte Auswahl dieser Konfigurationsparameter wird zwischen dem Eingang (dem einstrahlseitigen Ende) und dem Ausgang (dem abstrahlseitigen Ende) des Lichtleitkabels eine deutliche Vergleichmäßigung der Intensitätsverteilung über den Querschnitt bewirkt.

[0027] In dem dargestellten Ausführungsbeispiel wird ein Lichtleitkabel 9 mit einer einzigen optischen Faser verwendet, die als Multimode-Lichtleiter ausgebildet ist. Die Länge der optischen Faser beträgt dabei 30 bis 100 cm, vorzugsweise 50 bis 60 cm. Das Lichtleitkabel 9 kann willkürlich in der Beleuchtungseinrichtung 3 verlegt werden. Auch können hin- und herlaufende Faserabschnitte gebündelt werden, so daß ein quasi mehradriges Kabel entsteht.

[0028] Weiterhin umfaßt die Beleuchtungseinrichtung 3 eine optische Einkopplungseinrichtung 10 in Form einer Linse oder Linsenordnung, ggf. auch mit einer Blende, über die das Licht der Laserlichtquelle 8 in das Lichtleitkabel 9 eingekoppelt wird. Weiterhin ist eine optische Auskopplungseinrichtung 11 vorgesehen. Diese besteht wiederum aus einer oder auch mehreren Linsen und ggf. zusätzlichen Blenden.

[0029] Ein weiteres Lichtleitkabel 12 dient dazu, das von der Beleuchtungseinrichtung 3 über die optische Auskopplungseinrichtung 11 abgegebene Licht zum Objekt O zu leiten. Zwecks Anschluß an die Beleuchtungsoptik 6 und an die Beleuchtungseinrichtung 3 sind an den Enden des weiteren Lichtleitkabels 12 jeweils geeignete optische Koppler 13 und 14 vorgesehen.

[0030] In der vorstehend erläuterten Konfiguration wird bereits eine hohe Homogenität der Ausleuchtung eines Objektfeldes an dem Objekt O erzielt. Insbesondere kann das Auftreten von kohärentem Rauschen durch das Lichtleitkabel 9 stark vermindert werden, so daß im Bild des Objektfeldes störende Einflüsse durch das kohärente Rauschen bzw. Speckle vermindert oder gar vermieden werden.

[0031] Anstelle des vorstehend genannten weiteren Lichtleitkabels 12 kann auch eine Übertragung des Lichtes durch Umlenkspiegel erfolgen. Überdies ist es möglich, die Beleuchtungseinrichtung 3 unmittelbar an die Beleuchtungsoptik 6 anzuschließen.

[0032] In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist in der Beleuchtungseinrichtung 3 weiterhin eine rotierende Streuscheibe 15 vorgesehen, die hier zwischen der optischen Einkopplungseinrichtung 10 und dem Lichtleitkabel 9 positioniert ist. Auf die Darstellung der zugehörigen Antriebseinrichtung, mit der die Streuscheibe 15 in Drehung versetzt werden kann, wurde hier verzichtet.

[0033] Die Drehzahl der Streuscheibe ist so gewählt, daß diese für die Dauer eines Laserpulses, die beispielsweise 10 ns beträgt, quasi stillsteht, jedoch in dem Zeitraum zwischen zwei Laserpulsen weiterbewegt wird, bevor der nächste Laserpuls abgegeben wird (Wiederholfrequenz beispielsweise 200 Hz). Aufeinanderfolgende Pulse treten somit durch unterschiedliche Abschnitte der Streuscheibe 15 hindurch.

[0034] Für die vorstehend genannte Wiederholfrequenz genügen Geschwindigkeiten im Bereich von einigen Zentimetern pro Sekunde. Die Körnungsgröße der Granulierung liegt im Bereich 0,1 mm.

[0035] Zur Verstärkung des mit der Streuscheibe 15 bewirkten Homogenisierungseffektes kann zusätzlich eine zweite Streuscheibe (nicht dargestellt) vorgesehen werden, die je nach Ausgestaltung der Erfindung stillsteht in die entgegengesetzte Richtung rotiert. Steht die zweite Streuscheibe still, sollte sie in Strahlungsrichtung gesehen vorteilhafterweise vor der rotierenden Streuscheibe angeordnet sein.

[0036] Auch die Anordnung der Streuscheiben in bezug auf das Lichtleitkabel 9, die optische Einkopplungseinrichtung 10 und die optische Auskopplungseinrichtung 11 kann verhältnismäßig frei gewählt werden, d. h. die Streuscheibe 15 kann diesen Komponenten jeweils vor- oder auch nachgeschaltet werden. Dies gilt auch für weitere, eventuell vorhandene Streuscheiben in der Beleuchtungseinrichtung 3. Anstelle von granulierten Streuscheiben können auch mit holographischen Mustern versehene Streuscheiben verwendet werden, deren Muster im Hinblick auf einen Homogenisierungseffekt über den Strahlquerschnitt konfiguriert ist.

[0037] In einer weiteren Abwandlung des Ausführungsbeispiels ist es auch möglich, die optische Auskopplungseinrichtung 11 in die Beleuchtungsoptik 6 zu integrieren, so

daß das Lichtleitkabel 9 die Funktion des weiteren Lichtleitkabels 12 mit übernimmt.

[0038] Die im Zusammenhang mit dem Mikroskop 1 beschriebene Beleuchtungseinrichtung 3 kann auch zu anderen Zwecken eingesetzt werden, und zwar beispielsweise überall dort, wo eine möglichst homogene, flächige Ausleuchtung eines ausgedehnten Objektfeldes bzw. Meßfeldes bei einem optischen Gerät gewünscht wird. Ein Beispiel hierfür ist eine Einrichtung zur fotolithographischen Belichtung von Halbleitersubstraten bzw. Wafern.

#### Bezugszeichenliste

1 Mikroskop	
2 Betrachtungseinrichtung	15
3 Beleuchtungseinrichtung	
4 Objektiv	
5 Tisch	
6 Beleuchtungsoptik	
7 Videokamera	20
8 Laserlichtquelle	
9 Lichtleitkabel	
10 Einkopplungseinrichtung	
11 Auskopplungseinrichtung	
12 Lichtleitkabel	25
13, 14 Koppler	
15 Streuscheibe	
O Objekt	

#### Patentansprüche

1. Einrichtung zur flächigen Beleuchtung eines Objektfeldes bei einem optischen Gerät zur Objektbeobachtung, insbesondere einem Mikroskop (1), umfassend:
  - eine Laserlichtquelle (8) zur Erzeugung von Beleuchtungslicht und
  - ein Lichtleitkabel (9) mit wenigstens einer optischen Faser, durch die das Beleuchtungslicht zum Objekt (O) geleitet wird, wobei die optische Faser so ausgebildet und bemessen ist, daß sich die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb ihres Querschnittes auf dem Weg vom einstrahlseitigen zum abstrahlseitigen Ende zunehmend vergleichmäßigt und das Beleuchtungslicht vom abstrahlseitigen Ende der optischen Faser mit im wesentlichen homogener Intensitätsverteilung auf das Objekt (O) gerichtet ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserlichtquelle (8) Licht im UV-Bereich, vorzugsweise bei einer Wellenlänge von 386 nm, 365 nm, 266 nm, 257 nm, 248 nm, 213 nm, 211 nm oder 193 nm abstrahlt, die optische Faser als Multimode-Lichtleiter ausgebildet ist und eine bestimmte Länge und/oder einen bestimmten Durchmesser aufweist.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge optischen Faser zwischen 30 cm und 100 cm beträgt.
4. Einrichtung nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserlichtquelle (8) als gepulste Laserlichtquelle betrieben wird.
5. Einrichtung nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Lichtleitkabel (9) wenigstens eine rotierende Streuscheibe (15) vor- und/oder nachgeordnet ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Streuscheiben (15) mit entgegengesetztem Drehsinn vorgesehen sind.

7. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Streuscheiben (15) vorgesehen sind, von denen eine rotiert und die zweite stillsteht, wobei die stillstehende Streuscheibe in Strahlungsrichtung gesehen vor der rotierenden Streuscheibe angeordnet ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Streuscheiben (15) mit einer granulierten oder holographisch erzeugten optisch wirksamen Struktur versehen sind.

9. Optisches Gerät, insbesondere Mikrolithographie-Simulationsmikroskop, mit einer auf ein Objektfeld ausrichtbaren Betrachtungseinrichtung (2) und einer Einrichtung (3) zur Beleuchtung des Objektfeldes nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem zur Übertragung des Beleuchtungslichtes vom abstrahlseitigen Ende des Lichtleitkabels (9) zur Oberfläche des Objektes (O) ein weiteres Lichtleitkabel (12) vorgesehen ist, durch das die Homogenität der Intensitätsverteilung zumindest beibehalten wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

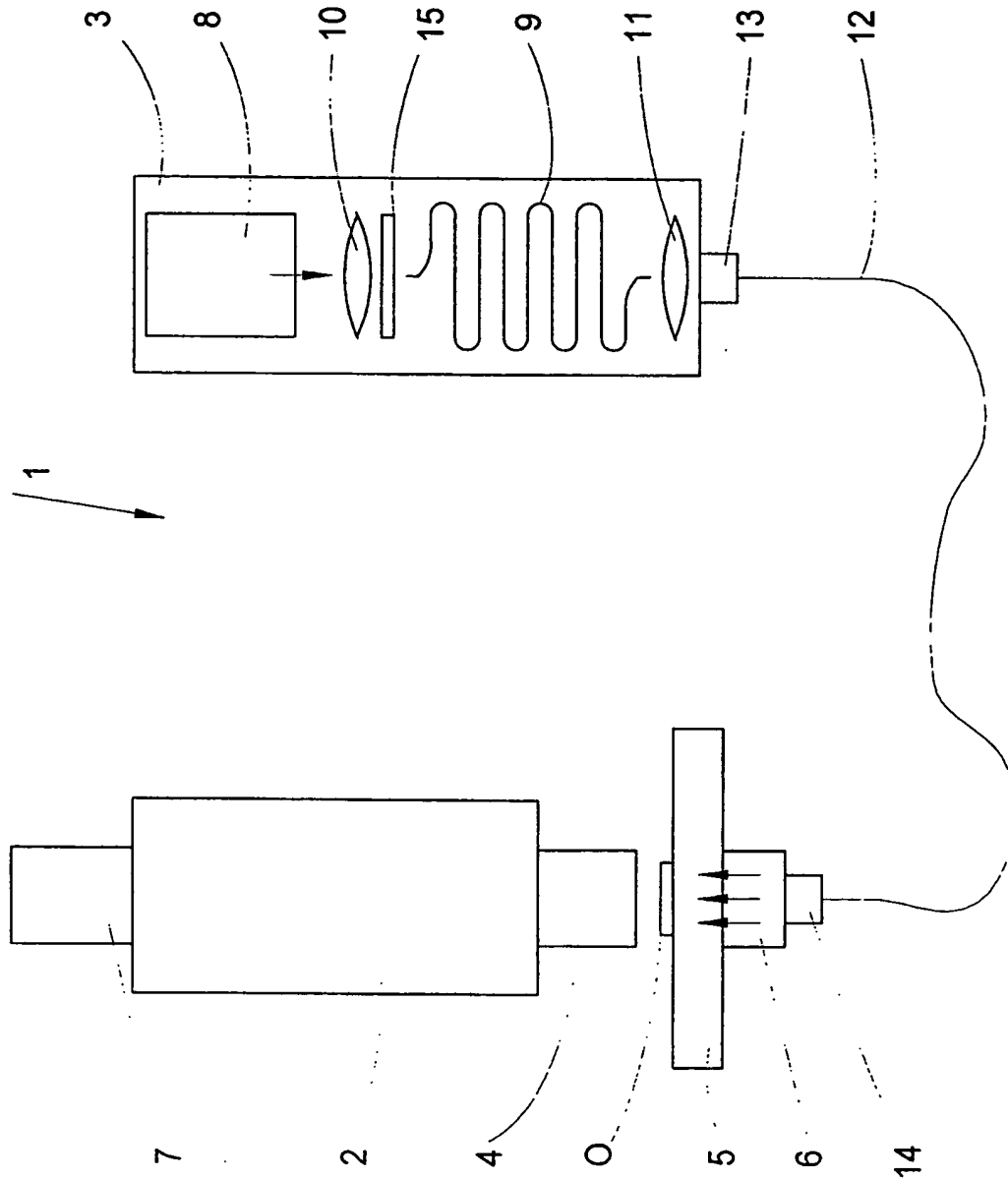


Fig.1